

SIMULAÇÃO DO RENDIMENTO DE MILHO PELO MODELO GLAM: I. RELAÇÕES ENTRE RENDIMENTOS E CHUVA EM DIFERENTES ESCALAS ESPAÇO-TEMPORAIS NO SUL DO BRASIL

HOMERO BERGAMASCHI¹, TIMOTHY R. WHEELER², ANDREW J. CHALLINOR²,
FLÁVIA COMIRAN³, BRUNA M. M. HECKLER³, SIMONE S. DA COSTA⁴

¹ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Univ. Federal Rio Grande do Sul, bolsista CNPq, C.P. 15100, CEP 91501.970, Porto Alegre, RS. Email: homerobe@ufrgs.br, ² Dr., The University of Reading, PO Box 217, Reading RG6 6AH, UK. Email: t.r.wheeler@reading.ac.uk, a.j.challinor@reading.ac.uk, ³ Eng. Agrônoma, Mestranda PPG Fitotecnia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Email: flaviacomiran@pop.com.br, bruheckler@yahoo.com.br, ⁴ Meteorologista, Dr., CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP, Email: simone@cptec.inpe.br.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia
02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO – Este estudo visa estabelecer relações entre rendimentos de milho e precipitação pluvial em diferentes escalas temporal e espacial, fornecendo bases para modelagem e monitoramento de safras. Utilizou-se uma série de 16 anos de rendimento de milho e dados diários de chuva de 11 municípios e micro-regiões do Rio Grande do Sul. Análises de correlação e regressão foram utilizadas para determinar associações entre rendimentos e totais de chuva no ciclo do milho, do pendoamento a 30 dias após e de 5 dias antes a 40 dias após o pendoamento. Altas relações foram encontradas entre rendimentos de grãos e chuvas no período reprodutivo, em particular nos 45 dias que englobam florescimento e enchimento de grãos. Essas relações foram mais elevadas em escala regional que em nível de município ou micro-região. São discutidas implicações de relações clima-cultura na modelagem de cultivos.

PALAVRAS-CHAVE – *Zea mays*, chuva, déficit hídrico, modelagem, período crítico.

ABSTRACT – This study aimed to establish relationships between maize yield and rainfall on different temporal and spatial scales, in order to provide a basis for crop monitoring and modelling. A 16-year series of maize yields and daily rainfall from 11 municipalities and micro-regions of Rio Grande do Sul State was used. Correlation and regression analyses were used to determine associations between crop yields and rainfall for the entire crop cycle, from tasseling to 30 days after, and from 5 days before tasseling to 40 days after. Close relationships between maize yield and rainfall were found, particularly during the reproductive period (the 45-day period, comprising the flowering and grain filling), rather than for the entire crop cycle. These relationships were closer on a regional scale than at smaller scales. Implications of the crop-rainfall relationships for crop modelling are discussed.

KEY WORDS – *Zea mays*, rainfall, water deficit, crop models, critical period.

INTRODUÇÃO - O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores de milho do Brasil. No entanto, seus rendimentos têm oscilado na ordem de 1,5 t ha⁻¹ (1991 e 2005) a 3,5 t ha⁻¹ (2001 e 2003), sendo a precipitação pluvial a principal fonte de variação (Berlato et al., 2005). O milho tem grande sensibilidade ao déficit hídrico do pendoamento ao início de formação de grãos (Bergonci et al., 2001; Bergamaschi et al., 2004). Rendimentos elevados e estáveis foram obtidos com irrigação, na ordem de 10 t ha⁻¹. No entanto, média inferior a 6 t ha⁻¹ foi obtida sem irrigação, variando de 1,5 a 10 t ha⁻¹ (Bergamaschi et al., 2006). O elevado desempenho do milho irrigado reflete sua alta capacidade de resposta à melhoria tecnológica.

Técnicas de modelagem vêm sendo usadas para descrever relações entre culturas e as condições meteorológicas, para quantificar e compreender impactos da variabilidade climática em sistemas de cultivo e identificar alternativas tecnológicas para mitigar seus efeitos. Funções matemáticas permitem estimar ou prever impactos de condições adversas, mas é necessário entender os impactos da variabilidade climática sazonal e interanual no rendimento das culturas antes de implementá-las em diferentes escalas de tempo e espaço (Challinor et al., 2004). Segundo Challinor et al. (2003) dados de grande escala permitem aos governos estimar a produção de alimentos, enquanto dados regionais podem apontar problemas localizados e definir estratégias de mitigação. Este estudo visou estabelecer relações entre rendimento do milho e precipitação pluvial em diferentes escalas espaciais, para o ciclo da cultura e o período crítico.

MATERIAL E MÉTODOS – Uma série de 16 anos de rendimento de milho (1990 a 2005) foi coletada em 347 municípios ao norte e noroeste do Rio Grande do Sul, que produziram mais de 83% do milho, nesse período. Rendimentos anuais também foram obtidos em 11 municípios e seus municípios vizinhos, compondo 11 micro-regiões, assim como no Estado inteiro (Figura 1). Dados diários de precipitação em cada safra foram coletados em estações meteorológicas instaladas nos 11 municípios referidos, pertencentes à Fepagro - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Cruz Alta, Erechim, Ijuí, Julio de Castilhos, Santa Rosa, São Borja, Taquari e Veranópolis) e ao Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia (Iraí, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga). Datas médias de algumas fases fenológicas do milho foram estabelecidas em cada micro-região, segundo levantamentos da EMATER/RS. Avaliou-se a relação entre o rendimento de grãos e precipitação pluvial através de análises de regressão. Os períodos analisados foram: todo o ciclo da cultura, o período de 30 dias a partir do pendoamento e o período compreendido entre 5 dias antes e 40 dias após o pendoamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO – Análises de correlação e regressão linear revelaram elevada significância nas relações entre rendimentos de grãos e precipitação pluvial na maioria dos municípios e micro-regiões (Tabela 1). A significância das regressões aumentou de municípios para micro-regiões e destas para a grande região produtora, sugerindo menor variabilidade de resultados em grande escala. Houve pequena redução em correlações ao nível de Estado, já que os dados meteorológicos foram obtidos na região produtora. As relações foram mais elevadas com totais de chuvas do período reprodutivo ao invés do ciclo todo, coerente com a alta sensibilidade do milho ao déficit hídrico naquele período (Matzenauer, 1994; Bergonci et al., 2001; Bergamaschi et al., 2004; e Bergamaschi et al., 2006).

Relações assintóticas significativas foram obtidas entre rendimento anual e chuvas nos períodos de 30 e 45 dias (Figuras 2 e 3). Porém, a significância desses modelos foi baixa para a precipitação de todo o ciclo. Houve aumento da significância com a ampliação do período avaliado, de 30 para 45 dias após o florescimento, que engloba a formação dos principais componentes do rendimento. É provável que este aumento possa reduzir as variações de sistemas e épocas de cultivo entre anos e locais, sobretudo em pequena escala.

A forma assintótica das funções evidencia incremento inicial de rendimento de grãos com aumento da precipitação, seguido de um platô. Tendência similar foi observada por Bergonci et al. (2001) e Bergamaschi et al. (2006) para efeitos da irrigação ou déficit hídrico sobre o rendimento de milho. Rendimentos máximos ocorrem em torno de 200 e 300 mm de chuva nos períodos de 30 e 45 dias, respectivamente. A proporção entre esses valores é coerente com a duração dos respectivos períodos. Pode-se considerar que esta é a quantidade de água necessária para suprir a cultura quando o índice de área foliar é máximo na região, no nível de

tecnologia adotado. Medições em lisímetro, em vários anos, detectaram evapotranspiração máxima da ordem de 7 mm por dia em milho com máxima área foliar, nas condições subtropicais do Rio Grande do Sul (Bergamaschi et al., 2001; Radin et al., 2003). Portanto, 200 e 300 mm de chuvas para 30 e 45 dias estão de acordo com as necessidades da cultura. O limite de 200 mm em 30 dias a partir do florescimento também é coerente com resultados de Matzenauer et al. (2002). Estes indicaram que as médias mensais da região (110 a 130 mm) são inferiores às necessidades do milho no período crítico, sendo limitante à sua produção.

A grande variabilidade no rendimento de grãos em anos chuvosos pode ser atribuída a outros fatores (Figuras 2 e 3). É razoável esperar maiores correlações entre rendimentos e precipitação em anos secos que em anos chuvosos. Assim, modelos de simulação tendem a ter maior precisão se houver déficit hídrico acentuado, sobretudo nos períodos críticos da cultura.

A elevada significância das funções que utilizam a chuva do período reprodutivo reflete a alta eficiência de uso da água nesta parte do ciclo, pelas menores perdas de água por evaporação.

As relações entre rendimentos anuais e precipitação tiveram maior significância no norte e no noroeste da região produtora (Tabela 2). Essas áreas compreendem o Planalto Médio e as Missões, onde as condições de clima, solo e topografia são mais homogêneas que no restante da região. Em geral, as propriedades são médias ou grandes e têm elevado nível tecnológico, o que tende a reduzir a variação de rendimentos. Portanto, é possível esperar maior precisão na estimativa de rendimento daquelas áreas, mesmo em pequena escala espacial. Nos demais municípios da região produtora, ao longo dos vales ao sul e sudeste, as condições de solo e clima tendem a uma maior variabilidade devido ao relevo irregular. Predominam propriedades pequenas, com nível tecnológico variável. Estes fatores tendem a aumentar a variabilidade espaço-temporal de rendimentos e chuvas, reduzindo a precisão da simulação em pequena escala. Este conjunto de resultados permite inferir que a modelagem de safras de milho na região pode ter elevada precisão em grande escala espacial (Challinor et al., 2003).

CONCLUSÕES: A variabilidade anual do rendimento de milho no Rio Grande do Sul tem alta relação com a precipitação pluvial, em particular do período reprodutivo. As relações são mais elevadas em escala regional que em nível de município ou micro-região. É possível estimar o impacto da variabilidade das chuvas no período crítico do milho ao nível de grande região ou Estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. *Revista Argentina de Agrometeorologia*, v.1, p.23-27, 2001.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 39, n. 9, p.831-839. 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 41, n.2, p.243-249. 2006.
- BERGONCI, J. I.; et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.949-956, 2001.
- BERLATO, M.A. et al. 2005. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n. 5, p.423-432, 2005.
- CHALLINOR, A.J. et al. Towards a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: determination of the working spatial scale. *Journal of Applied Meteorology*, v. 42, p.175-192. 2003.
- CHALLINOR, A.J. et al. Design and optimisation of a large-scale process-based model for annual crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 124, p.99-192. 2004.
- MATZENAUER, R. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. 1994. 172p. UFRGS, Porto Alegre.

MATZENAUER, R. et al. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105p. (BOLETIM FEPAGRO, 10)

RADIN, B. et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento das plantas. Porto Alegre, Brazil. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v. 9, n. 1-2, p. 7-16, 2003.

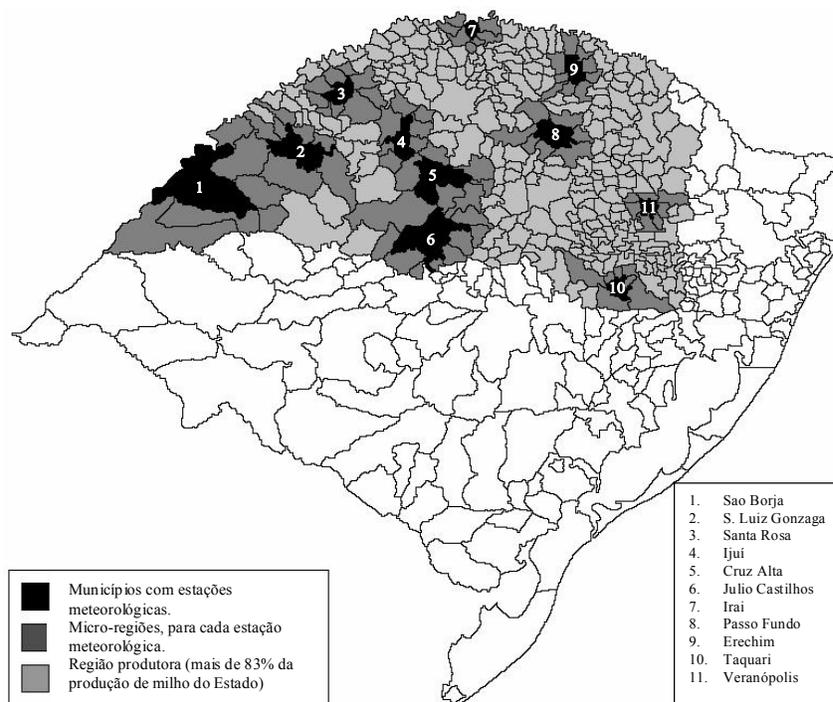


Figura 1. Localização dos 11 municípios e 11 micro-regiões de estudo, dentro da principal região produtora de milho do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Tabela 1. Análises de correlação e regressão linear para desvios de rendimento de milho (kg ha^{-1}) e precipitação (mm) no ciclo, 30 dias e 45 dias após o pendoamento, em 11 municípios, 11 micro-regiões, principal região produtora e Estado do Rio Grande do Sul, 1990-2005.

Municípios ou micro- regiões	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r)						SIGNIFICANCA DAS REGRESSÕES					
	Municípios			Micro-regiões			Municípios			Micro-regiões		
	ciclo	30 d	45 d	ciclo	30 d	45 d	ciclo	30 d	45 d	ciclo	30 d	45 d
Santa Borja	0,224	0,198	0,212	0,228	0,292	0,404	0,404	0,462	0,431	0,395	0,273	0,121
Taquari	0,456	0,445	0,509	0,507	0,379	0,396	0,076	0,084	0,044	0,045	0,147	0,129
Santa Rosa	0,457	0,303	0,501	0,486	0,253	0,505	0,075	0,254	0,048	0,056	0,345	0,046
S.L.Gonzaga	0,241	0,256	0,293	0,530	0,532	0,587	0,369	0,344	0,271	0,035	0,034	0,017
Passo Fundo	0,380	0,768	0,705	0,346	0,716	0,605	0,147	0,001	0,002	0,189	0,002	0,013
J. Castilhos	0,273	0,357	0,452	0,249	0,405	0,445	0,307	0,175	0,079	0,353	0,120	0,084
Iraí	0,0389	0,456	0,501	0,565	0,608	0,685	0,137	0,076	0,048	0,023	0,012	0,003
Erechim	0,268	0,404	0,451	0,370	0,460	0,491	0,315	0,121	0,079	0,159	0,073	0,054
Cruz Alta	0,262	0,381	0,478	0,455	0,659	0,733	0,327	0,146	0,061	0,077	0,001	0,006
Ijuí	0,416	0,535	0,621	0,510	0,643	0,695	0,109	0,033	0,010	0,044	0,007	0,003
Veranópolis	0,526	0,368	0,371	0,505	0,363	0,300	0,036	0,161	0,157	0,046	0,167	0,259
MÉDIA	0,484	0,659	0,702	0,529	0,695	0,741	0,056	0,005	0,002	0,033	0,004	0,001
<i>Períodos</i>	<i>Ciclo</i>		<i>30 dias</i>		<i>45 dias</i>		<i>Ciclo</i>		<i>30 dias</i>		<i>45 dias</i>	
Princ. região	0,564		0,724		0,759		0,023		0,002		0,001	
Estado	0,541		0,690		0,724		0,031		0,003		0,002	

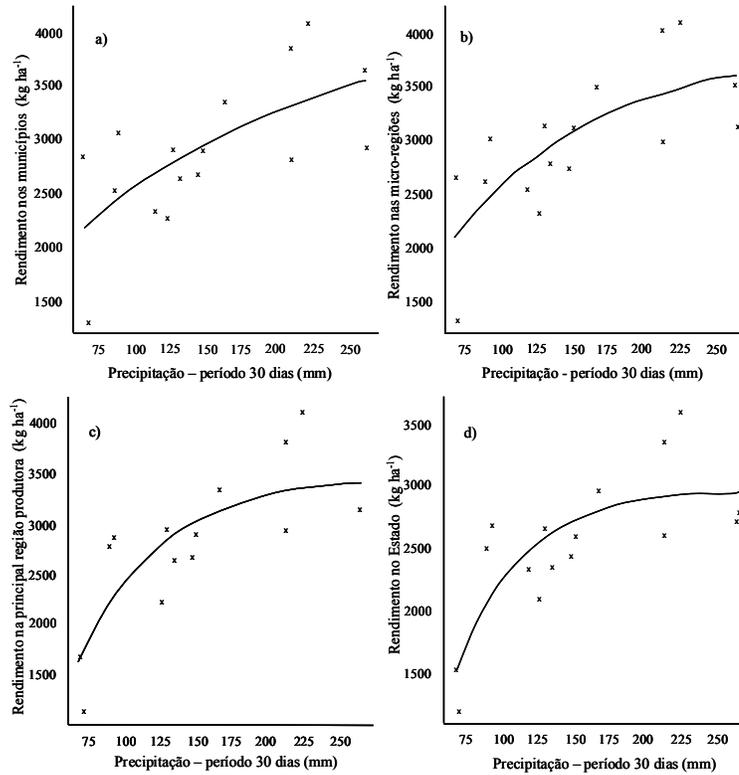


Figura 2. Rendimento de milho e precipitação em 30 dias após o pendoamento em: a) 11 municípios; b) 11 micro-regiões; c) principal região produtora; d) Estado RS, 1990-2005.

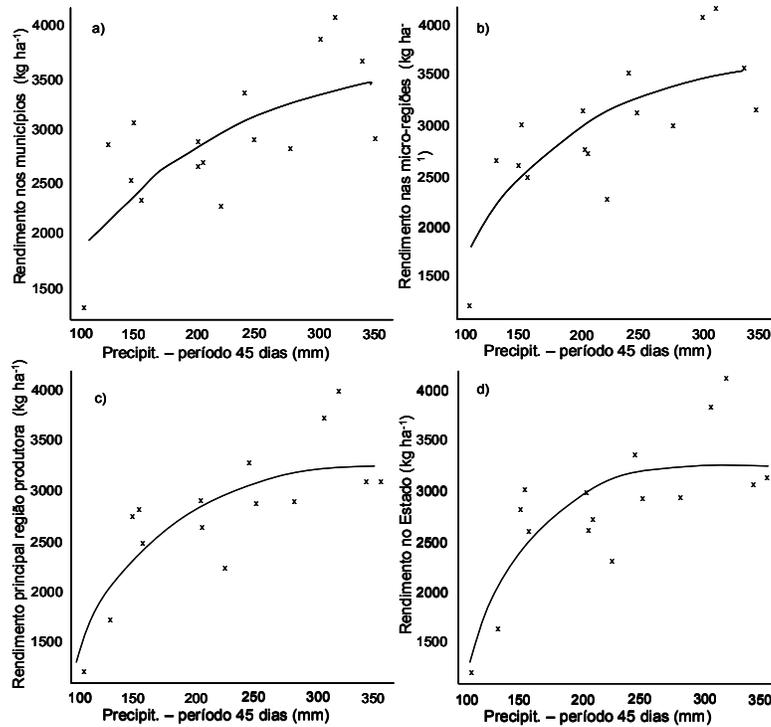


Figura 3. Rendimento de milho e precipitação entre 5 dias antes e 40 dias após o pendoamento em: a) 11 municípios; b) 11 micro-regiões; c) região produtora; d) Estado RS, 1990-2005.